

## 杏-丹参林药复合系统中丹参光合和蒸腾特性的研究

高峻<sup>1,2</sup> 孟平<sup>2</sup> 吴斌<sup>1</sup> 张劲松<sup>2</sup> 褚建民<sup>2</sup>

(1 北京林业大学水土保持学院 2 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室)

**摘要:**该文以杏-丹参林药复合系统中药用植物丹参为研究对象,利用 Li-COR 6400 便携式光合作用仪测定其光合和蒸腾作用,其目的是探讨林药复合系统中药材的生理生态特征,为发展果药复合模式提供一定的理论依据.结果表明:①杏-丹参复合系统中,杏树行中间测点的光照强度日变化规律与对照一致,都是单峰曲线,但是峰值低于对照.树行的东西冠下测点的日变化规律是对称的,前者上午出现峰值,后者下午出现峰值.树行中间、东林冠下和西林冠下日平均光照强度比对照分别减小 25.6%、68.5%、62.6%;统计分析表明各测点光照强度达显著差异.②利用 SPSS 统计软件分析了光响应曲线和 CO<sub>2</sub> 响应曲线,得到丹参叶片的光饱和点约为 236.4  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,光补偿点约为 15.88  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,表观光量子效率为 0.056 1 mol/mol.丹参叶片 CO<sub>2</sub> 补偿点为 30  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ ,CO<sub>2</sub> 饱和点为 800  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ ,叶片的羧化效率为 0.075 2,说明丹参为 C<sub>3</sub> 植物.③杏-丹参林药复合系统中丹参的光合速率和蒸腾速率均降低,且各测定点间差异显著,日变化曲线规律也发生变化.

**关键词:** 林药复合系统,丹参,光合特性,蒸腾特性

中图分类号:R282 文献标识码:A 文章编号:1000-1522(2006)02-0064-04

GAO Jun<sup>1,2</sup>; MENG Ping<sup>2</sup>; WU Bin<sup>1</sup>; ZHANG Jin-song<sup>2</sup>; CHU Jian-min<sup>2</sup>. **Photosynthesis and transpiration of *Salvia miltiorrhiza* in tree-herb system of *Prunus dulcis* and *Salvia miltiorrhiza*.** *Journal of Beijing Forestry University*(2006)28(2) 64-67 [Ch, 10 ref.]

1 College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China;

2 Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing, 100091, P. R. China.

The photosynthetic and transpiration characteristics of *Salvia miltiorrhiza* in *Prunus dulcis* and *S. miltiorrhiza* tree-herb system were studied using the Li-COR 6400 portable photosynthetic system. The study provides theoretical basis for developing tree-herb complex system. The results are as follows; 1) the diurnal variation of light intensity at the middle experimental site between the poplar rows demonstrates a curve with one peak, the same as the control, but the value of light intensity on the peak is lower than that of the control. The diurnal change of light at the east and west sites are symmetrical. The peak of the former appeared in the morning, and that of the latter in the afternoon. The average diurnal light intensities at the middle site, east rows and west rows are 25.6%, 68.5% and 62.6% lower than the control; the average diurnal light intensities among different sites is significant at  $P=0.05$  level. 2)  $AQ$  curve and  $Pn/C_i$  curve were analyzed with SPSS statistical program. The results show that the critical points of light saturation and light compensation, and apparent quantum yield are 236.4  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 15.88  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  and 0.056 1 mol/mol. CO<sub>2</sub> saturation point, compensation point and carboxylation efficiency are 30  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ , 800  $\mu\text{mol}/\text{mol}$  and 0.075 2. *S. miltiorrhiza* is a C<sub>3</sub> plant. 3) The photosynthetic rate and transpiration rate of *S. miltiorrhiza* in the tree-herb system decline, and the difference of those values of different sites is significant at  $P=0.05$  level, the regularity of their diurnal variation curves also changes.

**Key words** tree-herb system, *Salvia miltiorrhiza*, photosynthetic characteristics, transpiration characteristics

收稿日期:2005-03-10

http://journal.bjfu.edu.cn

基金项目:“十五”国家科技攻关课题(2001BA510B04)、国家自然科学基金资助项目(30371186)。

第一作者:高峻,博士生,助理研究员. 主要研究方向:水土资源高效利用和复合农林业. 电话:010-62889665 Email: gaojun@forestry.ac.cn  
地址:100091 北京市海淀区颐和园后中国林业科学研究院林业研究所.

农林复合系统又称复合农林业,已成为一门新兴的边缘性学科,出现在农业科学和林业科学的交叉领域,并呈现出蓬勃的生机和巨大的潜力<sup>[1]</sup>,为农业和林业可持续发展提供新的思维和新的领域。但是,在农林复合系统内不可避免地存在着物种间地上争光及地下争水分和营养物质等矛盾,因此,如何科学地选择光合利用型复合模式、间作植物的种类以及林下间作药材的生长适宜性等,是农林复合系统的重要研究内容。丹参(*Sabia miltiorrhiza* Bunge)的干燥根,是一种常用重要中草药,有活血去瘀,消肿止痛,养血安神的功能<sup>[2]</sup>,为传统的大宗常用中药材。近年来特别是由于在治疗心脑血管系统疾病方面的开发应用较多,又成为国内外重点开发的药材品种之一,使原料用量急剧增加,生产发展很快,效益可观。当前对其植物特性研究多见于栽培技术<sup>[3-5]</sup>、药理分析<sup>[6-7]</sup>,而有关光合与水分生理生态特性等方面的研究内容甚少。

本文选择太行山低山丘陵区具有代表性的杏-丹参林药复合模式为研究对象,进行植物光合、蒸腾特征的研究,旨在为该地区发展果农复合模式提供一定的理论依据,以期进一步丰富复合农林业光合生态理论研究内容。

## 1 试验地概况

试验地设在河南省济源市裴村“太行山低山丘陵区高效复合经营综合研究”试验区内(35°11' N, 112°03' E),各类农林复合经营模式总面积达 160 hm<sup>2</sup>。试验区地处太行山南段南麓,属温带大陆性季风气候,全年日照时数为 2 367.7 h,年日照率为 54%,稳定通过 0℃的多年平均积温为 5 282℃,大于等于 10℃的多年平均积温达 4 847℃。历年平均降水量 641.7 mm,基本上能满足作物生长的需要,但由于受季风气候影响,年内季节性分布不均匀。6-9 月份多年平均降水量为 438.0 mm,占全年 68.3%。试验区土壤以石灰岩风化母质淋溶性褐土为主,土层厚度 50~80 cm;pH 值 6.7~8.4,石砾含量为 10%~18%,有机质含量在 1.0%左右,速效氮 20.6~83 mg/kg,速效磷 5.7~17.3 mg/kg,速效钾 48~99 mg/kg。

本研究的具体对象是水平梯田条件下的杏树-丹参复合系统内的药用植物丹参。梯田南北宽 32 m,东西长 180 m,杏树株行距 3 m×4 m,密度 787 株/hm<sup>2</sup>,株高 2.4 m,南北冠幅 1.7 m,郁闭度 85%,树带行向为东西方向,品种为‘金太阳’,栽植于 1998 年。丹参为紫丹参,栽植于 2004 年 4 月(根栽),行向同杏树,距树行 50 cm,株行距 20 cm×25 cm。

## 2 试验设计与测定方法

### 2.1 测点布置

由于林药复合条件下,在同一行距内不同位置

(林冠外、行距中间)的微生态环境因子不同,从而使间作的药用植物生长具有差别,所以必须在行间布置不同测点。即将杏树行间的试验地按垂直树行方向分为 3 个区域,每个区域布置 3 次重复,以无林地作对照。垂直于树行自东向西设 3 个测点,西林冠下、行中间和东林冠下,距东树行的距离分别为 70、200 和 330 cm(测点布置见图 1)。

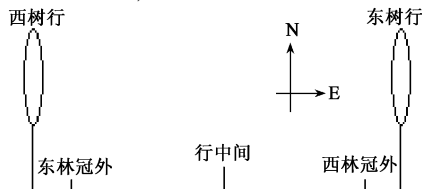


图1 测点示意图

FIGURE 1 Sketch map of experimental sites

### 2.2 光合、蒸腾特性的测定

2004 年 7 月(选择 3 个晴天,作为重复),分别选取测点 1、2、3 上的丹参充分展开叶,在自然条件下测定叶片净光合速率的日变化,自 6:00 到 18:00,每 1 h 测定一次。2004 年 7 月,还选取测点 1、2、3 上丹参的充分展开叶,测定其光-光合反应曲线和饱和光强下的 CO<sub>2</sub> 浓度-光合反应曲线。所用仪器为 Li-COR 6400 便携式光合仪。该仪器是一开放系统,它可利用人工 CO<sub>2</sub> 源、CO<sub>2</sub> 混合器、CO<sub>2</sub> 吸收器(CO<sub>2</sub> Scrubber)能够在 0~2 000 μmol/mol 范围内精确调控 CO<sub>2</sub> 浓度。

### 2.3 光照强度的测定

测定光合作用的同时,利用 Li-COR 棒状光照计在测点测定光照强度。

### 2.4 计算及分析方法

#### 2.4.1 光饱和点与补偿点

在利用统计分析软件(SPSS、SAS 等)分析光响应曲线时,常用的公式为<sup>[8]</sup>:

$$A = \frac{\phi Q + A_{\max} - \sqrt{(\phi Q + A_{\max})^2 - 4\phi Q A_{\max}}}{2k} - R_{\text{day}} \quad (1)$$

式中,  $A$  为净光合速率,  $Q$  为光合有效辐射,  $A_{\max}$  为最大净光合速率,  $\phi$  为表观量子效率,  $k$  为光响应曲线的曲角,  $R_{\text{day}}$  为光下呼吸速率。

利用光响应曲线可以确定光补偿点(LCP)、光饱和点(LSP)、表观量子效率( $\phi$ )、光能利用率(LUE)、最大净光合速率( $A_{\max}$ )等。

#### 2.4.2 CO<sub>2</sub> 饱和点与补偿点

统计分析 CO<sub>2</sub> 响应曲线时可采用如下公式<sup>[9]</sup>:

$$A = \frac{CE \times C_i \times A_{\max}}{CE \times C_i + A_{\max}} - R_{\text{esp}} \quad (2)$$

式中,  $CE$  为表观羧化效率,  $C_i$  为胞间 CO<sub>2</sub> 浓度,  $R_{\text{esp}}$  为呼吸速率。

利用 CO<sub>2</sub> 响应曲线可以确定 CO<sub>2</sub> 补偿点(CCP)、表观羧化效率( $CE$ )、呼吸速率( $R_{\text{esp}}$ )等。

### 2.4.3 差异显著性分析

分别对各测点的光照强度、丹参叶片净光合速率、丹参叶片蒸腾速率的日变化进行单因素方差分析( $\alpha=0.05$ ).

## 3 结果与分析

### 3.1 林药复合系统光照强度分布特征

在复合模式中,光照条件除受太阳高度角和方位角等不可控因子影响外,主要受树木株行距影响.杏树行间不同位置,由于树冠遮荫时间和遮荫强度不同,行内的光照强度日变化特征以及行间光照强度的水平分布特征的空间分布也不同.从图2可以看出,从早到晚各测点随着时间的变化,光照强度差异显著( $F=5.88 > F_{0.05}(3, 52)=2.76$ ).各测点在6:00和19:00由于太阳刚出和降落,光照最弱,且差异不大.对照和行中间两测点13:00光照最强,而西林冠下和东林冠下分别在12:00和14:00光照最强.光强日平均值的行间水平分布都是弧状的波峰形(图2).即在树行的中部光强最大,由此向两侧递减,而向两侧递减的幅度却不同,由行中向西递减的幅度小于向东的幅度,所以测点1的日平均光强大于测点2的光强.测点1光强比对照光强小62.6%,测点2比对照小68.5%,行中点比对照小25.6%.

### 3.2 丹参叶片光合作用的光响应与CO<sub>2</sub>浓度响应

光响应曲线(图3)和CO<sub>2</sub>浓度响应曲线(图4)反映了植物光合速率随光照强度和CO<sub>2</sub>浓度增减的变化规律.随着光照强度的增加,光合速率明显增大,当光照强度达到一定值后,光合速率基本上稳定在一定水平,即达到光饱和.据丹参叶片净光合速率对光响应曲线,计算出其在生长初期的光饱和点约为236.4  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,光补偿点约为15.88  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,表观光量子效率为0.056  $1 \text{ mol}/\text{mol}$ .

丹参净光合速率对CO<sub>2</sub>浓度的响应曲线表明,在50~800  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 的范围内,丹参叶片净光合速率随CO<sub>2</sub>浓度的增加呈直线上升.CO<sub>2</sub>浓度大于800

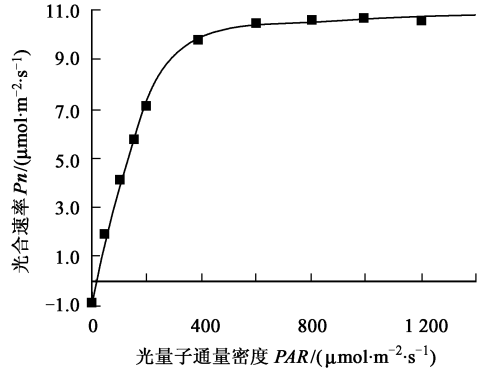


图3 丹参叶片的光响应

FIGURE 3 Light response of photosynthesis of *Sabia multiorrhiza*  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 后,净光合速率增加趋缓.CO<sub>2</sub>补偿点约30.0  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ ,CO<sub>2</sub>饱和点约800  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ .丹参叶片的羧化效率约为0.075 2.说明丹参为C<sub>3</sub>植物.

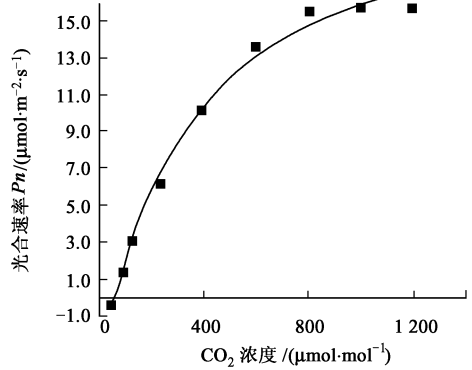


图4 丹参叶片对CO<sub>2</sub>的响应

FIGURE 4 CO<sub>2</sub> response of photosynthesis of *Sabia multiorrhiza*

### 3.3 丹参叶片净光合速率的日变化特征

林药复合系统光照效应和光照条件对药用植物的光合作用及生长发育具有重要意义.在生长盛期的晴天条件下测定丹参净光合作用速率的日变化(见图5).从图5可以看出,在生长盛期的晴天条件下,对照和复合系统中丹参叶片的光合速率差异显著( $F=9.65 > F_{0.05}(3, 48)=2.80$ ),这种差异不仅表现在数值大小上,也表现在变化规律上.对照的光合速率的日变化为一双峰曲线,分别出现在10:00

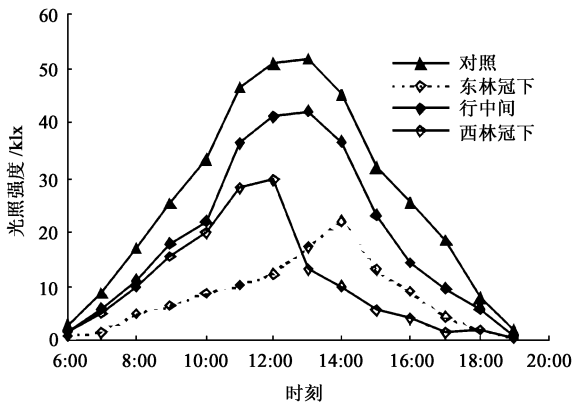


图2 不同测点光照强度的日变化

FIGURE 2 Diurnal variation of light intensity at different sites

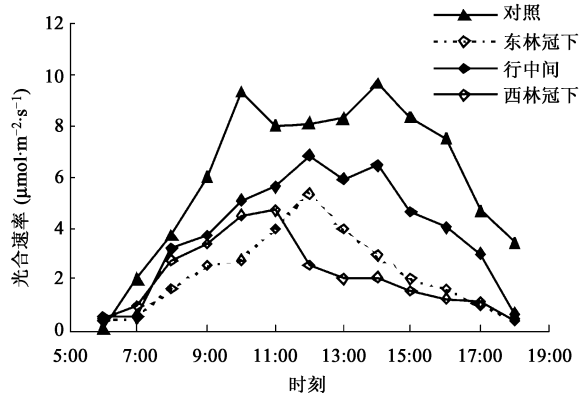


图5 不同测点光合速率的日变化

FIGURE 5 Diurnal variation of photosynthetic rate at different sites

( $9.33 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ) 和 14:00 ( $9.62 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ), 12:00 光合速率为  $8.07 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 出现了明显的下降. 在复合系统中, 丹参净光合速率的日变化均为单峰曲线, 均比对照降低. 树行中间和东冠下的峰值出现在 12:00, 分别为  $6.86$ 、 $5.33 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 而西冠下的峰值出现在 11:00 ( $4.7 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ). 虽然光合、蒸腾等生理活动对环境的反应形式是受遗传控制的<sup>[10]</sup>, 但由于杏树行间的光照强度的条件不同, 使生长在不同行距处的丹参的光合速率存在差异.

### 3.4 丹参叶片蒸腾速率的日变化特征

由图 6 可以看出, 各测点丹参叶片的蒸腾速率的日变化与光合速率近似, 差异显著 ( $F = 7.98 > F_{0.05}(3, 48) = 2.80$ ). 对照的峰值分别出现在 10:00 ( $2.69 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ) 和 14:00 ( $3.02 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ), 12:00 光合速率为  $2.44 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 出现了明显的下降. 在复合系统中, 丹参蒸腾速率的日变化均比对照降低. 东林冠下为单峰曲线, 峰值出现在 12:00 ( $1.48 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ). 行中间和东林冠下为双峰曲线, 与光合速率有所不同. 行中间峰值出现在 12:00 ( $1.87 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ) 和 14:00 ( $2.08 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ); 西林冠下峰值出现在 10:00 ( $1.33 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ) 和 14:00 ( $1.06 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ). 光合和蒸腾速率的不同步可能与土壤水分含量不同有关, 有待进一步研究.

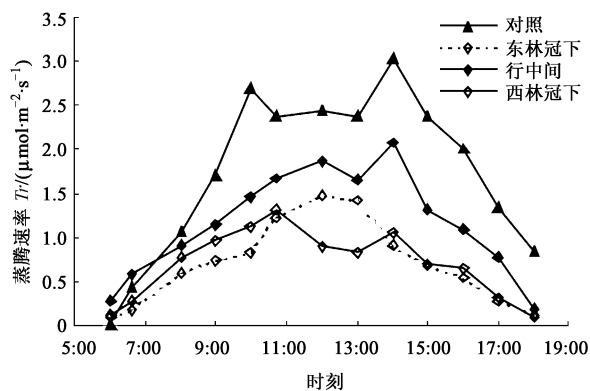


图 6 不同测点蒸腾速率的日变化

FIGURE 6 Diurnal variation of transpiration rate at different sites

## 4 结论与讨论

1) 杏-丹参复合模式中, 主要受树木株行距影响. 杏树行间不同位置, 由于树冠遮荫时间和遮荫强度不同, 行内的光照强度日变化特征以及行间光照强度的水平分布特征的空间分布也不同. 行中间、东林冠下和西林冠下的日平均光强比对照光强分别减小 25.6%、62.6%、68.5%.

2) 丹参叶片在生长盛期净光合速率的光饱和点约为  $236.4 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 光补偿点约为  $15.88 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 表观光量子效率为  $0.056 \text{ l mol}/\text{mol}; \text{CO}_2$  补

偿点约  $30.0 \mu\text{mol}/\text{mol}$ ,  $\text{CO}_2$  饱和点约  $800 \mu\text{mol}/\text{mol}$ , 羧化效率约为 0.075 2.

3) 杏-丹参复合模式中, 丹参的光合和蒸腾与杏树行间的光照强度的作用模式有着共同趋势. 但是生长在不同行距处的丹参的光合和蒸腾又存在差异. 这种差异不仅表现在数值大小上, 也表现在变化规律上.

4) 影响植物光合和蒸腾的因素, 主要是光照条件、 $\text{CO}_2$  浓度、土壤水分等. 在农林复合系统中由于不同种植物的竞争, 上述因子势必会发生变化, 对植物的光合和蒸腾的作用, 有待进一步研究.

## 参考文献

- [1] 李文华. 中国农林复合经营[M]. 北京: 科学出版社, 1994.  
LI W H. *The agroforestry complex management in China* [M]. Beijing: Science Press, 1994.
- [2] 徐良. 中药无公害栽培加工与转基因工程学[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2000: 174.  
XU L. *The no-polluted production procession and transgenic engineering of Chinese herbal medicine* [M]. Beijing: Chinese Medical and Pharmaceutical Science Press, 2000: 174.
- [3] 张跃非, 雷家容, 代其林. 丹参的组织培养及快速繁殖[J]. 植物生理学通讯, 2003, 39(2): 139.  
ZHANG Y F, LEI J R, DAI Q L. Tissue culture and rapid propagation of *Sabia miltiorrhiza* [J]. *Plant Physiology Communications*, 2003, 39(2): 139.
- [4] 王佑兴. 丹参栽培技术[J]. 农业科技与信息, 2001(6): 38.  
WANG Y X. Processing technique of *Sabia miltiorrhiza* [J]. *Information of Agricultural Science and Technology*, 2001(6): 38.
- [5] 王德民, 皖石. 丹参高产栽培技术[J]. 中国农村科技, 2002(8): 12.  
WANG D M, WAN S. High-yield culture technique of *Sabia miltiorrhiza* [J]. *China Rural Science & Technology*, 2002(8): 12.
- [6] 韩建萍, 梁宗锁, 孙群, 等. 施肥对丹参植株生长及有效成分的影响[J]. 西北农业学报, 2002, 11(4): 67-74.  
HAN J P, LIANG Z S, SUN Q, et al. Effects of fertilizing on danshen growth and effective ingredient [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2002, 11(4): 67-74.
- [7] 滕艳芬, 王峥涛, 余国奠. 丹参的药用资源研究进展[J]. 中国野生植物资源, 2001, 20(2): 1-3.  
TENG Y F, WANG Z T, YU G D. The research advances of medical resource in *Sabia miltiorrhiza* [J]. *Chinese Wild Plant Resources*, 2001, 20(2): 1-3.
- [8] GRAHAM D F. Models of photosynthesis [J]. *Plant Physiology*, 2001, 125: 42-45.
- [9] OLSSON T, LEVERENZ J W. Non-uniform stomatal closure and the apparent convexity of the photosynthetic photon flux density response curve [J]. *Plant, Cell and Environment*, 1994, 17: 701-710.
- [10] 坎内尔 M G R, 拉斯特 F T. 树木生理与遗传改良[M]. 熊文愈, 吴贯明, 译. 北京: 中国林业出版社, 1981: 3-7.  
CANNELL M G R, LAST F T. *Tree physiology and genetical improvement* [M]. XIONG W Y, WU G M, transl. Beijing: China Forestry Publishing House, 1981: 3-7.

(责任编辑 冯秀兰 李文军)